贵州北盘江流域观赏兰科植物及其功能群研究

侯欢欢[1,2]，安明态[2,3*]

（1. 毕节市林业局，贵州 毕节 551700；2. 贵州大学 林学院，贵阳 550025；3. 贵州大学 生物多样性与自然保护研究中心，贵阳 550025）

摘　要：为科学保护和合理开发贵州北盘江流域野生兰科（Orchidaceae）植物资源，科学筛选高观赏价值兰科植物并探究其环境适应特征，对更好地保护和开发兰科植物具有重要意义。该文以贵州省北盘江流域分布的兰科植物为研究对象，基于层次分析法筛选出具有较高观赏价值的种类，并使用聚类和冗余分析明确不同环境条件下的植物功能群物种组成。结果表明：（1）研究区兰科植物共 74 属 249 种（含变种），在水平空间分布上有 2 个密集区，分别是望谟县与紫云县交界片区和盘州市西部片区；在垂直空间分布上，随海拔变化呈"中间膨胀型"分布，以 800～1 600 m 范围为主。（2）研究区观赏兰科植物可划分为三大等级，第一级为开发优等级，共 51 种兰科植物，第二级为开发储备级，共 170 种，第三级的 28 种观赏价值较低，没有作为观赏植物开发的必要。（3）研究区开发优等级的观赏兰科植物可划分为低海拔喜荫非石灰岩山地功能群，低海拔喜阳石灰岩山地功能群、中海拔喜荫石灰岩山地功能群和高海拔喜阳非石灰岩山地功能群 4 类，不同功能群间兰科植物适应环境类型差异较大。通过对贵州北盘江流域观赏兰科植物的筛选和生态功能群的划分，可为今后园林应用、科学保护、引种驯化开发、野外回归等研究提供一定参考价值。

关键词：兰科，物种多样性，观赏价值评价，生态功能群，植物资源开发

中图分类号：Q948.2　　　　**文献标识码：**A

Study on ornamental Orchidaceae and their functional groups in Beipan river basin of Guizhou

HOU Huanhuan[1,2], AN Mingtai[2,3*]

(1. *Bijie Forestry Bureau*, Bijie 551700, China; 2.*College of Forestry, Guizhou University*, Guiyang 550025, China; 3. *Research Center for Biodiversity and Nature Conservation, Guizhou University*, Guiyang 550025, China)

Abstract: In order to protect and develop wild orchids resources in Beipan river basin of Guizhou, scientifically screening high ornamental value orchids and exploring their environmental adaptation characteristics are of great significance to better research and protection orchids. This study, taking orchids distributing in Beipan river basin of Guizhou as the research project, selected species with high ornamental value based on analytic hierarchy process, and used clustering and redundancy analysis to identify the species composition of plant functional groups under different environmental conditions. The results were as follows: (1) There were 74 genera and 249 species (including varieties) of orchids, the horizontal distribution was concentrated in the border area of Wangmo and Ziyun and the western area of Panzhou. In the vertical distribution, the orchids were mainly distributed in the range of 800-1 600 m. (2) Orchids in the study area can be divided into three ornamental grades, the first was the excellent grade for development, with 51 species, the second was the reserve grade for development, with 170 species, the third had 28 species with low ornamental value, which were not necessary to be developed as ornamental plants. (3) Development optimal levels of ornamental orchids in the study area can be divided into four ecological function groups, which were low-altitude shade-requiring non-limestone mountain functional group, low-altitude heliophile limestone mountain functional group, intermediate-altitude shade-requiring limestone mountain functional group and high-altitude heliophile non-limestone mountain functional group, respectively. The types of adaptation of orchids to the environment vary greatly among different functional groups. Through screening high ornamental value orchids and study of their ecological function groups in the study area, it is conducive to application, scientific protection and field regression of orchids in the future.

Key words: orchid, species diversity, ornamental value evaluation, ecological functional groups, plant resources development

基金项目：国家自然科学基金(31960042)；国家林业和草原局野生植物保护专项资金项目(2019073004) [Supported by National Natural Science Foundation of China(31960042); Wild Plant Protection and Management Project of State Forestry and Grassland Administration(2019073004)]。

第一作者：侯欢欢（1996-），硕士，助理工程师，研究方向为园林植物与观赏园艺，（E-mail）2546277464@qq.com。

*__通信作者：__安明态，博士，正高级工程师，主要从事生物多样性保护（植物方向）、喀斯特森林生态与物种多样性维持研究，（E-mail）gdanmingtai@126.com。

野生植物种质资源是园林绿化发展的重要基础材料，我国野生高等植物资源十分丰富，约 4 万余种，然而驯化利用的仅 2 000 余种（廖成松等，2017）。在我国丰富的高等植物中，兰科（Orchidaceae）植物便是其中观赏价值高、种类丰富而应用较少的代表类群。兰科作为有花植物中最大的科之一，全世界有 736 属 28 000 余种（Christenhusz & Byng, 2016），广泛分布于除两级和极端干旱沙漠地区以外的各种陆地生态系统中，尤以热带地区分布最多（Gustavo, 1996）。中国有记载的兰科植物共计 5 亚科 195 属 1 600 多种，是世界上兰科植物最丰富的国家之一（金效华等，2021）。目前，我国针对兰科植物的研究多集中在形态学、细胞学、菌根生物学、传粉生物学、育种及组培快繁等方面（景袭俊和胡凤荣，2018），引种驯化繁育等研究多依附于植物园或兰科植物专类园进行，据国家林业和草原局数据，我国各大主要植物园现保育有野生兰科植物约 800 余种。多年来，贵州省仅针对兰科个别属或种开展过引种栽培研究，罗晓青等（2009）从中国西南及其周边地区引入贵州兴义的 24 个兜兰属（*Paphiopedilum*）植物种均能正常生长，且部分品种生长良好，繁殖率较高；李媛媛等（2014）在贵州全省范围内收集不同种类兰科植物 10 属 38 种进行引种栽培试验，其中兰属和兜兰属引种存活率较高，但开花率均较低。现如今，贵州省植物园、贵州省林业科学研究院等科研院所及兰花爱好者对本省野生兰科植物均进行着不同程度的收集、引种和繁育研究。整体上，我国野生兰科植物的引种驯化及保护等研究正以良好的态势发展。

中国兰文化底蕴深厚，兰花也是我国的传统名花（周知新，2018），形态类型多样且高度特化的花部结构使大部分野生兰科植物具有极高的观赏价值，但将其作为观赏植物进行引种繁育试验研究的重心多为现有品种改良或新品种开发（Peijman et al., 2016），导致市场上现有兰花观赏性状趋同。同时，人们对奇特稀有兰花的追求也使得野生兰科植物持续遭到掠夺性采挖，导致部分野生珍稀兰科植物濒临灭绝。西南高山峡谷区独特的地理位置和复杂的自然环境为野生兰科植物提供了适宜的生存环境（张殷波等，2015）。贵州地处中国西南部高原山地，地形地貌复杂，喀斯特地貌面积约占全省国土总面积的 61.9%（李宗发，2011），水热条件好，生境异质化程度高，蕴藏着丰富的野生兰科植物资源，境内尤以北盘江流域为最，该地野生兰科植物种类数量占全省总数的 64.43%（叶超等，2022）。为解决当前兰花市场审美疲劳，缓解掠夺性采挖现象，需对野生兰科植物进行合理开发利用并以利用促保护，但由于兰科植物对其原生生境的依赖性比较强（金效华等，2011），使得具有观赏价值的兰科植物难以被直接引种应用。因此，本研究以贵州北盘江流域为研究区，依托该区域丰富的野生兰科植物资源为研究对象，采用层次分析、聚类分析和冗余分析等方法，通过筛选高观赏价值兰科植物并开展其生态功能群划分研究，拟探讨该区域野生兰科植物物种多样性、观赏兰科植物种类组成及其环境适应特征等问题，以期为今后该区域野生兰科植物园林应用、野外分布地预测、野外回归与保护等方面提供一定参考价值。

1 数据与方法

1.1 数据来源

数据主要来源于课题组 2019—2021 年对贵州北盘江流域兰科植物的集中调查。通过样方调查法，在北盘江流域所涉各县区东南西北中各选择分布有兰科植物地段设置 5 m × 5 m 的样方，最终共设置样线 260 条，调查样方 2 493 个。在调查过程中，分别记录样方位置、兰科植物种类、数量及性状等指标，同时记录相关环境因子并进行照片拍摄。由于贵州北盘江流域喀斯特地貌发育典型，在调查中，部分样方根据实际情况进行了适当调整。

1.2 水平分布密度图制作

将野外调查兰科植物经纬度数据导入 ArcGIS 10.2 软件并利用 Jenks 分级功能将物种空间分布密度进行分级，从而制作水平分布密度图。

1.3 观赏价值评价

层次分析法（analytical hierarchy process, AHP）在园林植物资源评价（朱莹等，2021）及景观价值评价方面（邹薇等，2020）应用广泛。通过构建层次分析模型、构建判断矩阵、制定标准层指标评分细则、判断矩阵正规化、行向量计算及正规化、一致性检验等步骤（夏萍等，2011），从而计算各兰科物种综合权重及综合得分，最终进行观赏等级划分。在构建判断矩阵时，本研究邀请熟悉层次分析法具体操作与应用的 5 名相关学者，运用 1 ~ 9 分判

断矩阵标度表（李祚泳，1991）量化标准层各指标重要程度（表 1），并进行两两比较判断，从而构建判断矩阵；在进行标准层各指标权重的比较和分配时，参考夏萍等（2011）的研究采用特征向量法进行。

表 1　判断矩阵标度表

Table 1　Judgment matrix scale table

标度 Scale	含义 Meaning	标度 Scale	含义 Meaning
1	i 和 j 相同重要 i and j are equally important	3	i 比 j 稍微重要 i is slightly more important than j
5	i 比 j 明显重要 i is obviously more important than j	7	i 比 j 强烈重要 i is more important than j
9	i 比 j 极端重要 i is more important than j extremely	2, 4, 6, 8	表示上述相邻判断的中间值 Represents the intermediate value of the above adjacent judgment
倒数 Reciprocal	若因素 i 与因素 j 的重要性之比为b_{ij},那么因素 j 与因素 i 重要性之比为$b_{ji}=1/b_{ij}$ If the ratio of the importance of factor i to factor j is b_{ij}, then the ratio of the importance of factor j to factor i is $b_{ji}=1/b_{ij}$		

当检验判断矩阵的一致性比率 *CR*（consistency ratio）小于等于 0.1 时，可认为判断矩阵具有满意的一致性，即判断矩阵未出现逻辑矛盾，评价结果有效（李祚泳，1991）。计算公式为 $CR=CI/RI$，式中：*CI*（consistency index）为判断矩阵一致性指标，*RI*（average random consistency index）为判断矩阵平均随机一致性指标（表 2），可查表获得（焦树锋，2006）。

表 2　1~30 阶平均随机一致性指标 *RI*

Table 2　1-30 order average random consistency index *RI*

阶数 Order	*RI*	阶数 Order	*RI*	阶数 Order	*RI*	阶数 Order	*RI*	阶数 Order	*RI*
1	0.000 0	7	1.360 0	13	1.560 0	19	1.632 7	25	1.668 6
2	0.000 0	8	1.410 0	14	1.580 0	20	1.640 3	26	1.670 5
3	0.520 0	9	1.460 0	15	1.590 0	21	1.648 1	27	1.675 5
4	0.890 0	10	1.490 0	16	1.605 0	22	1.653 1	28	1.677 9
5	1.120 0	11	1.520 0	17	1.615 8	23	1.659 1	29	1.681 6
6	1.260 0	12	1.540 0	18	1.626 4	24	1.662 2	30	1.684 0

1.4 植物功能群划分研究

植物功能群的划分源于植物群落与环境关系的研究，划分必须根据研究背景和需要而定，目前没有统一的划分标准，在具体实践中，可根据研究目的、尺度不同而将植物划分成不同的功能群（赵庆，2020）。本研究选取海拔、坡位、坡度、坡向、植被类型、郁闭度及土壤类型 7 个环境因子作为参考指标，运用 SPSS 20.0 软件对各兰科植物进行系统聚类分析（hierarchical cluster），从而得到平均联接（组间）树状图。结合聚类分析结果，根据当前植物功能群划分普遍采用的五种划分类型标准（Gitay & Habiba, 1996），将利用同一种或相似环境资源的植物划分为同一生态功能群。

结合了环境矩阵的典型相关分析能够更好的反映物种与环境间的生态关系，通过对物种数据进行除趋势对应分析（detrended correspondence analysis, DCA），进而判断排序轴梯度长度，当长度值小于 3.5 时，冗余分析（redundancy analysis, RDA）较典范对应分析（canonical correspondence analysis, CCA）更符合生态学实际（张金屯，2018）。本研究计算所得各排序轴的梯度长度值均小于 3.5，故而运用 Canoco 4.5 软件，选用 RDA 分析物种与环境因子间的相关关系，从而进一步揭示和印证聚类分析所得研究区观赏兰科植物生态功能群划分结果。

2 结果与分析

2.1 属种组成及生活型

研究区兰科植物共计 74 属 249 种（含变种，下同）。其中优势属 7 个（属下种数为 10 种及以上），包含 111 种兰科植物，是组成研究区兰科植物的优势成分；中型属 5 个（属下种数为 5～9 种），包含 33 种兰科植物；少型属 27 个（属下种数为 2～4 种），包含 70 种兰科植物；单种属 35 个（属下仅 1 种）。研究区地生型兰科植物最多，为 143 种，占总种数的 57.43%；附生型共 95 种，占比 38.15%；腐生型仅 11 种，占比 4.42%。对于中间过渡

的种类，本文一并将其划归为其主要的生活型。

2.2 分布格局

2.2.1 水平分布格局

在研究区范围内的野生兰科植物有 2 个分布密集区，一是望谟县与紫云县交界片区，二是盘州市西部片区（图 1）。其中，望谟紫云交界片区兰科植物水平分布最密集，物种多样性也较丰富，分布于该区的兰科植物共计 107 种，其中 25 种仅发现分布于该区域。该区域纬度较低，热量条件好，人口密度低，植被保存完整，为该区域兰科植物提供了良好的生存繁衍条件，形成了兰科植物种类和数量分布均较多的格局。盘州西部片区兰科植物水平分布也较密集，但多样性丰富程度一般，分布于该区的兰科植物共计 58 种，其中 13 种仅发现于该区域。

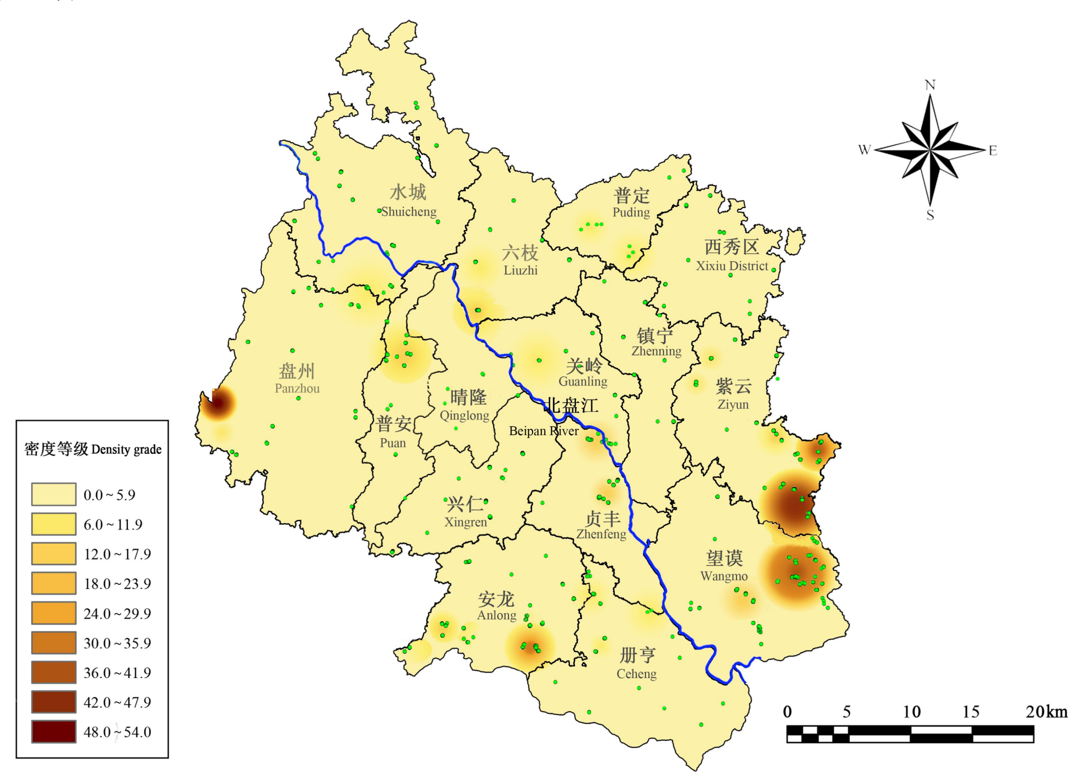


图 1　研究区兰科植物水平分布密度图

Fig.1　Horizontal distribution density of orchids in the study area

2.2.2 垂直分布格局

依据研究区各县域的海拔范围以及调查的兰科植物分布海拔，以 200 m 为一垂直梯度，由图 2 可知，研究区兰科植物随海拔变化呈现“中间膨胀型”分布，主要分布在 800 ~ 1 600 m 范围内，共 139 种兰科植物，占调查总种数的 79.43%，高海拔地区和低海拔地区分布的兰科植物均较少。

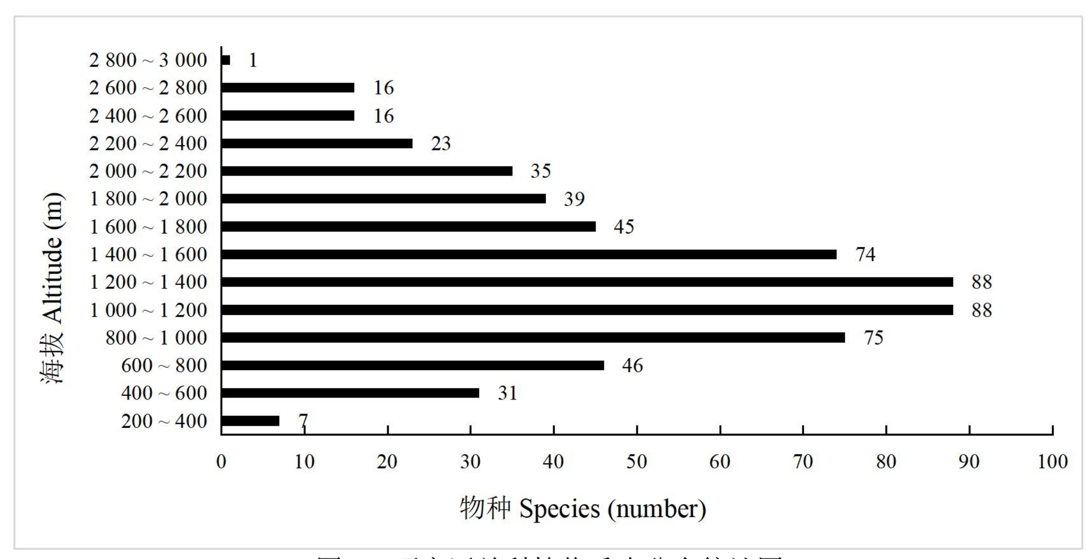


图 2　研究区兰科植物垂直分布统计图

Fig.2　Vertical distribution of orchids in the study area

2.3 观赏价值评价

2.3.1 构建层次分析模型

参考武旭霞等（2006）的研究，依据层次分析模型构建原理并结合兰科植物植株性状，最终选用能代表多数人观赏需求的整体性状、花性状、叶性状以及假鳞茎性状四个方面共 18 个评价指标构建层次综合评价模型，模型由目标层（A）、约束层（C）、标准层（P）和最底层（D）组成（表 3）。

表 3　层次分析模型

Table 3　Comprehensive evaluation model

目标层 A Target layer A	约束层 C Constraint layer C	标准层 P Standard layer P	最底层 D Bottom layer D
研究区兰科植物观赏价值评价 Evaluation of ornamental value of orchids in the study area	C_1 整体性状 Whole traits	P_1 生活型 Life style	待评价的兰科植物...D1 D2 D3... Orchids to be evaluated... D1 D2 D3...
		P_2 株型 Plant type	
		P_3 株高 Plant height (cm)	
	C_2 花性状 Flower traits	P_4 自然花期 Natural flowering period	
		P_5 整体花期长短 Overall flowering period (month)	
		P_6 花显度 Flower visibility	
		P_7 花枝数量 Flower branches (number)	
		P_8 花数量 Flower (number)	
		P_9 花香 Fragrance	
		P_{10} 单花正面辐射面积 Radiation area of single flower front (cm^2)	
		P_{11} 花被颜色差异 Perianth color difference	
		P_{12} 花被特异性 Perianth specificity	
	C_3 叶性状 Leaf traits	P_{13} 叶长 Leaf length (cm)	
		P_{14} 叶宽 Leaf width (cm)	
		P_{15} 叶数量 Leaf (number)	
		P_{16} 叶色 Leaf color	
	C_4 假鳞茎性状 Pseudobulb traits	P_{17} 假鳞茎长 Pseudobulb length (cm)	
		P_{18} 假鳞茎最大处直径 Maximum diameter of pseudobulb (cm)	

2.3.2 构建判断矩阵及一致性检验

根据学者打分构建的判断矩阵一致性比率 CR 的计算结果均小于 0.1，表明各判断矩阵均具有满意的一致性。由各指标综合权重值可知（表 4），影响兰科植物观赏价值高低的约束层指标权重由大到小依次为花性状 ＞ 整体性状 ＞ 叶性状 ＞ 假鳞茎性状，可见对兰科植物观赏价值影响最大的是花性状。在标准层各指标中，株型和单花正面辐射面积的综合权重分别为 0.165 0 和 0.101 4，与其它性状指标的综合权重差距较大，可见株型和单花正面辐射面积是影响兰科植物观赏价值最为重要的性状指标。

表 4　综合权重值统计表

Table 4　Statistical table of comprehensive weight values

约束层 C Constraint layer C	权重 Weight (A - C_i)	标准层 P Standard layer P	权重 Weight (C - P_i)	综合权重 Comprehensive weight
C_1 整体性状 Whole traits	0.271 4	P_1 生活型 Life style	0.129 0	0.035 0
		P_2 株型 Plant type	0.607 9	0.165 0
		P_3 株高 Plant height (cm)	0.263 1	0.071 4
C_2 花性状 Flower traits	0.545 0	P_4 自然花期 Natural flowering period	0.044 8	0.024 4
		P_5 整体花期长短 Overall flowering period (month)	0.101 6	0.055 4
		P_6 花显度 Flower visibility	0.119 1	0.064 9
		P_7 花枝数量 Flower branches (number)	0.101 8	0.055 5
		P_8 花数量 Flower (number)	0.111 0	0.060 5
		P_9 花香 Fragrance	0.112 2	0.061 1
		P_{10} 单花正面辐射面积 Radiation area of single flower front (cm^2)	0.186 1	0.101 4
		P_{11} 花被颜色差异 Perianth color difference	0.116 3	0.063 4
		P_{12} 花被特异性 Perianth specificity	0.107 1	0.058 4
C_3 叶性状 Leaf traits	0.126 7	P_{13} 叶长 Leaf length (cm)	0.135 7	0.017 2
		P_{14} 叶宽 Leaf width (cm)	0.118 4	0.015 0
		P_{15} 叶数量 Leaf (number)	0.239 9	0.030 4
		P_{16} 叶色 Leaf color	0.506 0	0.064 1
C_4 假鳞茎性状 Pseudobulb traits	0.057 0	P_{17} 假鳞茎长 Pseudobulb length (cm)	0.500 0	0.028 5
		P_{18} 假鳞茎最大处直径 Maximum diameter of pseudobulb (cm)	0.500 0	0.028 5

2.3.3 标准层指标评分细则确定

在参考潘端云（2019）及相关研究文献资料的基础上，采用 1～5 分制的方法，制定出一套适合兰科植物标准层各指标的评分细则（表 5），同时从文献资料查阅和实地调查两方面入手，获取各指标的评分数据。

表 5　标准层各指标评分细则

Table 5　Detailed rules for each index score of standard layer

标准层指标 Standard layer	分值 Score				
	5	4	3	2	1
P_1 生活型 Life style	—	地生型 Geobiontic type	附生型 Epiphytic type	腐生型 Saprophytic type	—
P_2 株型 Plant type	奇特 Peculiar	—	紧凑，常规 Compact but conventional	松散，或较凌乱 Loose or messy	—
P_3 株高 Plant height (cm)	30.1 ~ 38.0	38.1 ~ 45. 0	20.0 ~ 30.0	45.1 ~ 50.0	> 50.0, < 20.0
P_4 自然花期 Natural flowering period	—	冬季 Winter	春季 Spring	秋季 Autumn	夏季 Summer
P_5 整体花期长短 Overall flowering period (month)	7 ~ 8 个月 7 - 8 months	5 ~ 6 个月 5 - 6 months	3 ~ 4 个月 3 - 4 months	2 个月 2 months	1 个月 1 month
P_6 花显度 Flower visibility	完全超出叶丛 Exceed the foliage completely	—	接近叶丛 Near foliage	—	完全掩映于叶丛 Hide in the foliage completely
P_7 花枝数量 Flower branch (number)	7 ~ 8	5 ~ 6	3 ~ 4	2	1
P_8 花数量 Flower number (number)	> 20	10 ~ 20	6 ~ 10	3 ~ 5	1 ~ 2
P_9 花香 Fragrance	—	—	有 Have	—	无 None
P_{10} 单花正面辐射面积 Radiation area of single flower front (cm^2)	> 50.0	25.1 ~ 50.0	10.1 ~ 25.0	5.0 ~ 10.0	< 5.0
P_{11} 花被颜色差异 Perianth color difference	—	大 Large	一般 Commonly	无 None	—
P_{12} 花被特异性 Perianth specificity	特异结构十分明显 Specific structure is very obvious	—	特异结构明显 Specific structure is obvious	—	特异结构不明显 Specific structure is not obvious
P_{13} 叶长 Leaf length (cm)	15.1 ~ 30.0	30.1 ~ 50.0	50.1 ~ 80.0	10.0 ~ 15.0	> 80.0, < 10.0
P_{14} 叶宽 Leaf width (cm)	1.1 ~ 3.0	3.1 ~ 6.0	6.1 ~ 9.0	9.1 ~ 13.0	0.0 ~ 1.0
P_{15} 叶数量 Leaf number (number)	13 ~ 30	1	2	6 ~ 12	3 ~ 5
P_{16} 叶色 Leaf color	多色、或具明显斑纹或斑点 Multi-colour, or with obvious markings or spots	—	单色且叶色较深 Monochrome and dark leaf color	单色且叶色较浅 Monochrome and light leaf color	—
P_{17} 假鳞茎长 Pseudobulb length (cm)	3.1 ~ 5.0	1.1 ~ 3.0	> 5.0	0.0 ~ 1.0	无 None
P_{18} 假鳞茎最大处直径 Maximum diameter of pseudobulb (cm)	1.1 ~ 2.0	2.1 ~ 3.0	> 3.0	0.0 ~ 1.0	无 None

注：— 表示该指标无此类型。

Note: — indicates that the index does not have this type.

2.3.4 综合得分及观赏等级划分

根据综合得分的高低，可将研究区兰科植物划分为三大观赏等级。第一级为开发优等级，本研究将其定义为研究区重点观赏兰科植物，其综合得分大于 2.60 分，共有兰科植物 51 种，占研究区总种数的 20.48%，其中综合得分排名前十的主要以兜兰属、兰属以及杓兰属等花性状优越的兰科植物为主（表 6）。第二级为开发储备级，综合得分为 2.00 ~ 2.60 分，共有兰科植物 170 种，占比 68.27%。第三级为开发低等级，综合得分小于 2.00 分，共计 28 种，占比 11.24%。

表 6　研究区综合得分排名前十的兰科植物各性状得分

Table 6　Scores of each characters of the top ten orchids in the study area

物种 Species	总得分 Total score	整体性状得分 Whole traits score	花性状得分 Flower traits score	叶性状得分 Leaf traits score	假鳞茎性状得分 Pseudobulb traits score	排名 Rank
麻栗坡兜兰 *Paphiopedilum malipoense*	3.782 6	1.181 8	1.876 6	0.527 2	0.057 0	1
杏黄兜兰 *P. armeniacum*	3.439 4	1.039 0	1.729 9	0.473 5	0.057 0	2
墨兰 *Cymbidium sinense*	3.293 5	1.105 3	1.895 3	0.349 2	0.057 0	3
硬叶兜兰 *Paphiopedilum micranthum*	3.283 4	0.896 2	1.729 9	0.460 3	0.057 0	4
巨瓣兜兰 *P. bellatulum*	3.218 5	0.896 2	1.628 5	0.496 8	0.057 0	5
西藏虎头兰 *Cymbidium tracyanum*	3.154 2	0.866 0	1.832 1	0.379 6	0.057 0	6
同色兜兰 *Paphiopedilum concolor*	3.118 1	0.896 2	1.579 6	0.445 3	0.057 0	7
果香兰 *Cymbidium suavissimum*	3.110 8	0.709 1	1.873 3	0.366 4	0.057 0	8
长叶兰 *C. erythraeum*	3.048 9	0.686 9	1.820 4	0.379 6	0.057 0	9
丽江杓兰 *Cypripedium lichiangense*	3.047 5	0.896 2	1.478 2	0.476 0	0.057 0	10

在这三大观赏等级中，开发优等级兰科植物是研究区综合观赏价值最高的类群，且有一定的资源量，在科学保护的前提下，具有较高的开发应用潜力。开发储备级的种类，其开发应用价值一般，无论是植株整体性状还是局部性状，都没有特别突出的特点，作为资源稀少的旗舰类群，其生态需求大于观赏需求，盲目开发易造成生态破坏和资源浪费，不建议在引种驯化研究初期阶段以其为开发利用对象，可作为观赏储备种质资源，在熟练掌握兰科植物引种驯化或培育选育技术后适当开发。第三级的兰科植物无论是植株整体性状还是局部性状，观赏价值均较低，其中包含了 10 种腐生兰科植物，占研究区腐生兰科植物（11 种）的绝大部分。因为腐生兰缺少叶片，且植株多低矮小巧，颜色浅淡，营养生长期在地面以下进行，其观赏价值低，适应生境特殊，其生态价值和研究价值远大于观赏价值，难以开发利用，故而没有作为观赏植物开发的必要。

2.4 植物功能群划分研究

2.4.1 聚类分析

在研究区筛选的 51 种观赏兰科植物中，实地调查到 35 种，样方共计 886 个，除去调查数据缺失的 20 个样方，则为 866 个。

基于分布地环境因子的观赏兰科植物聚类分析结果如图 3 所示，当欧式距离 N 为 10 时，将 35 种观赏兰科植物划分为 4 大类更能反映其在野外的分布类群情况。第一类：包含麻栗坡兜兰、硬叶兜兰、巨瓣兜兰等 19 种兰科植物，主要分布在海拔范围为 600 ~ 2 200 m 中等偏密的阔叶林中，多着生于石灰岩山地中部至中上部的险坡处，分布地朝向以北偏东的阴坡或半阴坡为主，从利用和适应环境因子角度出发，即为中海拔喜荫石灰岩山地功能群。第二类：包含扇唇舌喙兰、绒兰、多花指甲兰在内的 3 种兰科植物，主要分布在海拔范围为 600 ~ 1 000 m 稀疏的针阔混交林中，多着生于森林谷底的缓坡或险坡处，分布地朝向以西北的半阴坡及阴坡为主，即低海拔喜荫非石灰岩山地功能群。第三类：包含西藏虎头兰、果香兰、长叶兰等 11 种兰科植物，主要分布在海拔范围为 600 ~ 1 600 m 中等偏密的阔叶林或针叶林中，多着生于石灰岩山地中上部偏下的险坡或急坡处，分布地朝向以朝东或东南的半阳坡为主，即低海拔喜阳石灰岩山地功能群。第四类：包含丽江杓兰和落地金钱 2 种兰科植物，主

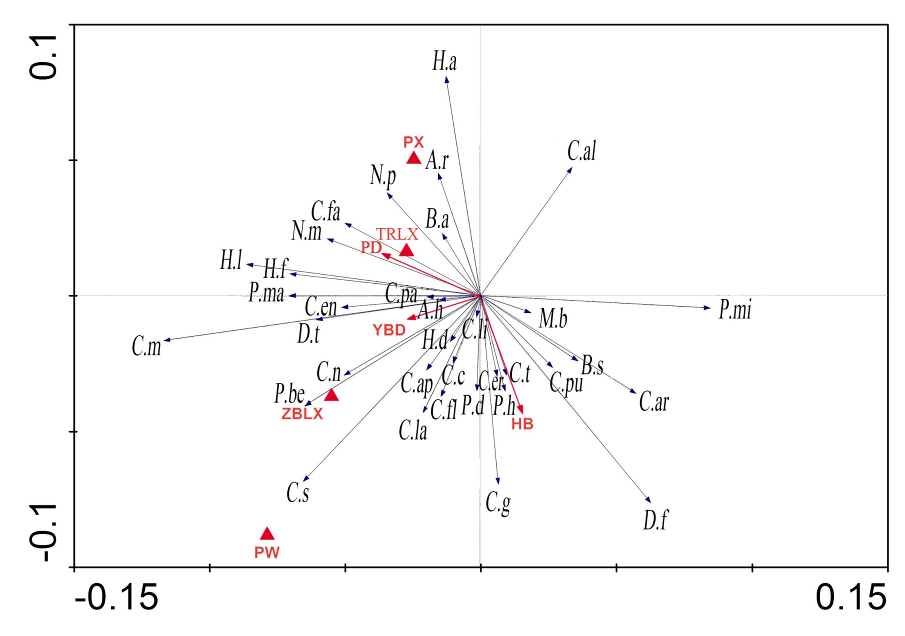
要分布在海拔范围为 2 200 ~ 2 800 m 稀疏偏中等密度的草坡或灌草丛中，多着生于黄棕壤山地中下部至中上部的陡坡或斜坡处，分布地朝向以西南或东南的半阳坡为主，即高海拔喜阳非石灰岩山地功能群。

图 3 35 种观赏兰科植物基于各环境因子的系统聚类分析

Fig.3 Cluster analysis of 35 ornamental orchids based on environmental factors

2.4.2 冗余分析

冗余分析结果显示，所有排序轴的显著性检验值为 0.009，均小于 0.01，为极显著水平。前四个排序轴物种和环境关系的累积方差百分比值为 87.10%，共能解释物种和环境关系的 87.10%特征，表明前四个排序轴能够反映研究区观赏兰科植物的绝大部分原始信息。由图 4 可知，影响观赏兰科植物分布与物种组成解释量最大（线最长）的是坡位，其次为植被类型，第三是海拔。在 RDA 排序图中，物种间夹角越小，表示两者适应环境类型越相似。整体上，RDA 排序图中除个别种生态幅较大，具有一定的分散外，绝大部分均聚集于相似的环境中，与系统聚类结果重合度较高。



A.h. 卵叶无柱兰；***A.r***. 多花指甲兰；***B.a***. 梳帽卷瓣兰；***B.s***. 白及；***C.al***. 纹瓣兰；***C.ap***. 杜鹃兰；***C.ar***. 弧距虾脊兰；***C.c***. 莎叶兰；***C.en***. 建兰；***C.er***. 长叶兰；***C.fa***. 杜鹃兰；***C.fl***. 多花兰；***C.g***. 春兰；***C.la***. 兔耳兰；***C.li***. 丽江杓兰；***C.m***. 硬叶兰；***C.n***. 南贡隔距兰；***C.pa***. 大序隔距兰；***C.pu***. 镰萼虾脊兰；***C.s***. 果香兰；***C.t***. 西藏虎头兰；***D.f***. 流苏石斛；***D.t***. 绒兰；***H.a***. 落地金钱；***H.d***. 厚瓣玉凤花；***H.f***. 扇唇舌喙兰；***H.l***. 禄劝玉凤花；***M.b***. 短瓣兰；***N.m***. 七角叶芋兰；***P.be***. 巨瓣兜兰；***P.d***. 长瓣兜兰；***P.h***. 带叶兜兰；***P.ma***. 麻栗坡兜兰；***P.mi***. 硬叶兜兰；***N.p***. 毛叶芋兰；**HB**. 海拔；**PW**. 坡位；**PD**. 坡度 ；**PX**. 坡向；**ZBLX**. 植被类型；**YBD**. 郁闭度；**TRLX**. 土壤类型。

A.h. *Amitostigma hemipilioides*; ***A.r***. *Aerides rosea*; ***B.a***. *Bulbophyllum andersonii*; ***B.s***. *Bletilla striata*; ***C.al***. *Cymbidium aloifolium*; ***C.ap***. *Cremastra appendiculata*; ***C.ar***. *Calanthe arcuata*; ***C.c***. *Cymbidium cyperifolium*; ***C.en***. *Cymbidium ensifolium*; ***C.er***. *Cymbidium erythraeum*; ***C.fa***. *Cymbidium faberi*; ***C.fl***. *Cymbidium floribundum*; ***C.g***. *Cymbidium goeringii*; ***C.la***. *Cymbidium lancifolium*; ***C.li***. *Cypripedium lichiangense*; ***C.m***. *Cymbidium mannii*; ***C.n***. *Cleisostoma nangongense*; ***C.pa***. *Cleisostoma paniculatum*; ***C.pu***. *Calanthe puberula*; ***C.s***. *Cymbidium suavissimum*; ***C.t***. *Cymbidium tracyanum*; ***D.f***. *Dendrobium fimbriatum*; ***D.t***. *Eria tomentosa*; ***H.a***. *Habenaria aitchisonii*; ***H.d***. *Habenaria delavayi*; ***H.f***. *Hemipilia flabellata*; ***H.l***. *Habenaria luquanensis*; ***M.b***. *Monomeria Lindl*; ***N.m***. *Nervilia mackinnonii*; ***P.be***. *Paphiopedilum bellatulum*; ***P.d***. *Paphiopedilum dianthum*; ***P.h***. *Paphiopedilum hirsutissimum*; ***P.ma***. *Paphiopedilum malipoense*; ***P.mi***. *Paphiopedilum micranthum*; ***N.p***. *Nervilia plicata*, **HB**. Altitude; **PW**. Slope position; **PD**. Slope; **PX**. Slope direction; **ZBLX**. Vegetation type; **YBD**. Canopy density; **TRLX**. Soil type.

图 4　35 种观赏兰科植物与环境因子的 RDA 排序图

Fig.4　RDA ordination of 35 ornamental orchids and environmental factors

3 讨论与结论

在研究区范围内，兰科植物单种属占比最大，为 47.30%。单种属的大量出现，可能是属下种类尚未完成分化，也可能是受环境影响，致使属下大量种类消失，现存的只是某一残余种类。地区单种属越多，表示该区域的物种组成越复杂，群落结构越稳定（曹威，2015），可见，研究区兰科植物属种组成复杂，群落结构较稳定，侧面也反映出该地的环境条件特殊。

研究区低海拔地区分布的兰科植物较少，一方面是因为研究区低海拔地区国土面积占比少，人口密度大，开发利用程度高，而且低海拔地区多为常态地貌区，生境异质化程度远低于喀斯特地貌区；另一方面，研究区绝大多数地区海拔在 600 ~ 1 500 m 范围内，而且该海拔段也是喀斯特典型分布的区域，高度异质性的喀斯特环境和占比更大的分布范围蕴藏了种类更多的野生兰科植物。

研究区内贞丰县分布的兰科植物种类不及相邻县域望谟县的一半，一般来说，相邻县域分布兰科植物种类和数量差距较小，但贵州北盘江流域范围内部分相邻县域兰科植物种类和数量差异较大。一方面，可能与该地区环境复杂、生境高度异质有关；另一方面，即使本次资源本底调查覆盖了贵州北盘江流域的各个县（区、市）及重点林区和主要生境，但由于研究区地形地貌复杂且范围较大，仍可能存在调查遗漏区域或遗漏物种。近年来，当地政府加

强了针对兰科植物的保护力度，但由于地形地貌复杂，植被恢复困难，生态恢复进程缓慢，兰科植物濒危或灭绝的风险仍然很高，为此还需进一步加大本底资源调查、监测和预警，以便为科学保护与合理利用提供基本依据。

层次分析法在野生植物观赏价值评价方面的应用已较成熟，但在评价指标的选择上仍缺乏统一的标准，由专家学者打分确定的各指标权重存在一定的主观性，但本研究的研究对象均为草本植物，植株性状差异较小，且是同科植物，可比性强，这在一定程度上降低了由于个人打分带来的主观差异。相比之下，层次分析法仍是最优选择，期待今后更加成熟和完善的评价体系出现，进而对野生植物观赏价值进行更为精确和科学的评价。同时，由于时间限制，本研究通过层次分析法筛选出的观赏兰科植物研究主要停留在理论层面，兰科植物作为珍稀濒危野生植物资源，实际应用于园林观赏还需进一步开展引种驯化和栽培试验等更详尽、微观和深入的研究，以免造成珍稀濒危植物资源的浪费。此外，影响兰科植物野外分布的环境因子多种多样，本研究基于现有条件筛选易获得的主要环境因子进行调查分析，而光照强度、土壤理化性质、湿度等环境因子对其影响如何，还需进一步深入调查研究，从而更加准确而全面地揭示贵州北盘江流域兰科植物生存繁衍对环境的响应机制。

贵州北盘江流域是贵州省野生兰科植物分布最丰富的地区，但该区域也是我省兰科植物丧失最严重的地区（叶超等，2022），由于大部分兰科植物具有极高的药用价值和观赏价值，加上部分人员保护意识不高，法律意识淡薄，导致其逢遇必被采，资源仍在减少。目前，人为采挖盗挖已成为导致兰科植物丧失最为关键的威胁因素。2021 年，国家林业和草原局发布了《国家重点保护野生植物名录》，其中涉及了很多兰科植物，因此，在今后开展引种驯化、人工培育等科学研究时，应依照《中华人民共和国野生植物保护条例》第十六条规定，需向有关主管部门或其授权机构申请采集证；此外，还需进一步强化物种多样性保护宣传并严格执法，加强研究区森林保护及退化植被和生境修复，以此缓解兰科植物多样性的丧失。

参考文献：

CAO W, 2015. Study on spatial distribution of bryophytes in Miaoling mountains of Guizhou, China[D]. Guiyang: Guizhou University. [曹威，2015. 苗岭地区苔藓植物空间分布格局研究[D]. 贵阳：贵州大学.]

CHRISTENHUSZ MJM, BYNG JW, 2016. The number of known plants species in the world and its annual increase[J]. Phytotaxa, 261(3): 201-217.

GITAY, HABIBA N, 1996. A functional classification for predicting the dynamics of landscapes[J]. J Veg Sci, 7(3): 329-336.

GUSTAVO AR, 1996. The orchid family[M]//IUCN/SSC Orchid Specialist Group(ed.), Orchid-Status Survey and Conservation Action Plan. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge: 3-4.

JIAO SF, 2006. The algorithm of mean random consistency index in AHP and its MATLAB implementation[J]. J Taiyuan Norm Univ(Nat Sci Ed), (4): 45-47. [焦树锋，2006. AHP 法中平均随机一致性指标的算法及 MATLAB 实现[J]. 太原师范学院学报(自然科学版)，(4)：45-47.]

JIN XH, PENG JS, ZHAO TH, 2021. More than 70% of orchids are in protected areas in China[J]. For Humankind, (9): 112-115. [金效华，彭建生，赵天华，2021. 中国兰花 70%以上在保护地[J]. 森林与人类，(9)：112-115.]

JIN XH, XIANG XG, CHEN B, 2011. Biodiversity of orchids in the remnant native forests in Nujiang Valley, Yunnan Province, China[J]. Biodivers Sci, 19(1): 120-123. [金效华，向小果，陈彬，2011. 怒江河谷低海拔地区残存原生植被中兰科植物多样性[J]. 生物多样性，19(1)：120-123.]

JING XJ, HU FR, 2018. Research progress of Orchidaceae[J]. Mol plant breed, 16(15): 5080-5092. [景袭俊，胡凤荣，2018. 兰科植物研究进展[J]. 分子植物育种，16(15)：5080-5092.]

LI YY, ZOU J, ZHANG YW, et al., 2014. Introduction and cultivation of wild species from Orchidaceae within Guizhou Province[J]. J Jiangsu For Sci Technol, 41(3): 19-22. [李媛媛，邹军，张玉武，等，2014. 贵州野生兰科植物引种栽培试验研究[J]. 江苏林业科技，41(3)：19-22.]

LI ZF, 2011. Partition of karst landform in Guizhou[J]. Guizhou Geol, 28(3): 177-181. [李宗发，2011. 贵州喀斯特地貌分区[J]. 贵州地质，28(3)：177-181.]
LI ZY, 1991. The research progress of analytic hierarchy process[J]. Chin J Nat, (12): 904-907. [李祚泳，1991. 层次分析法及其研究进展[J]. 自然杂志，(12)：904-907.]
LIAO CS, KANG JX, GUO L, 2017. Summarized and prospect of research status of wild ornamental plants in China[J]. Agric Technol Equip, (3): 21-23. [廖成松，康俊霞，郭梁，2017. 国内野生观赏植物研究现状综述与展望[J]. 农业技术与装备，(3)：21-23.]
LUO XQ, WANG DG, DENG KY, et al., 2009. Study of introduction and domestication cultivation of *Paphiopedilum* plant in Xingyi city of Guizhou Province[J]. J Anhui Agric Sci, 37(20): 9459-9460. [罗晓青，王代谷，邓克云，等，2009. 贵州省兴义市兜兰属植物引种驯化研究[J]. 安徽农业科学，37(20)：9459-9460.]
PAN DY, 2019. Diversity and evaluation of wild ornamental plants in central Guizhou[D]. Guiyang: Guizhou University. [潘端云，2019. 黔中地区野生观赏植物多样性及其评价[D]. 贵阳：贵州大学.]
PEIJMAN A, HEDAVAT B, AYOUB MN, et al., 2016. Current status and biotechnological advances in genetic engineering of ornamental plants[J]. Biotechnol Adv: A Int Rev J, 34(6): 1073-1090.
WU XX, YOU J, LIN QM, 2006. Establishment of the evaluation system for exploitation value of the wild resources of ornamental plants[J]. Chin Agric Sci Bull, (8): 464-469. [武旭霞，游捷，林启美，2006. 观赏植物野生资源开发利用价值评价体系的建立及应用[J]. 中国农学通报，(8)：464-469.]
XIA P, WANG K, LI NX, et al., 2011. Improvement of index weight in analytic hierarchy process[J]. Chin Health Stats, 28(2): 151-154. [夏萍，汪凯，李宁秀，等，2011. 层次分析法中求权重的一种改进[J]. 中国卫生统计，28(2)：151-154.]
YE C, LIU F, AN MT, et al., 2022. Analysis on *in situ* conservation status and conservation vacancy of wild Orchidaceae in Guizhou Province[J]. Guihaia, 42(2): 240-246. [叶超，刘锋，安明态，等，2022. 贵州野生兰科植物就地保护现状及保护空缺分析[J]. 广西植物，42(2)：240-246.]
ZHANG JT, 2018. Quantitative ecology [M]. 3rd ed. Beijing: Science Press: 197. [张金屯，2018. 数量生态学[M]. 3 版. 北京：科学出版社：197.]
ZHANG YB, DU HD, JIN XH, et al., 2015. Species diversity and geographic distribution of wild Orchidaceae in China[J]. Chin Sci Bull, 60(2): 179-188. [张殷波，杜昊东，金效华，等，2015. 中国野生兰科植物物种多样性与地理分布[J]. 科学通报，60(2)：179-188.]
ZHAO Q, 2020. Study on functional characters and functional group dynamics of different succession plants in stone desert area of karst plateau[D]. Guiyang: Guizhou University. [赵庆，2020. 喀斯特高原石漠化区植物群落恢复过程植物功能性状与功能群动态研究[D]. 贵阳：贵州大学.]
ZHOU ZX, 2018. A study of Chinese orchid culture from an ecological aesthetics perspective[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University. [周知新，2018. 生态美学视野下的中国兰文化研究[D]. 南京：南京林业大学.]
ZHU Y, SONG H, LIU HX, et al., 2021. Comprehensive evaluation of 120 bearded *iris* varieties in landscape application[J].Chin Landscape Archit, 37(9): 101-105. [朱莹，宋华，刘恒星，等，2021. 120 个有髯鸢尾品种的园林应用综合评价[J]. 中国园林，37(9)：101-105.]
ZOU W, HU XJ, CHENG LJ, et al., 2020. Plantscape evaluation on urban road greenbelt in Shanghang County[J]. J NW For Univ, 35(4): 265-272. [邹薇，胡希军，成璐洁，等，2020. 上杭县城区道路绿地植物景观评价[J]. 西北林学院学报，35(4)：265-272.]